

WAVE FRONT ABERRATION MEASURING METHOD AND PROJECTION ALIGNER

Publication Number: 2001-230193 (JP 2001230193 A) , August 24, 2001

Inventors:

- SASAKI AKIRA
- OSAKI YOSHINORI

Applicants

- CANON INC

Application Number: 2000-041676 (JP 200041676) , February 18, 2000

International Class:

- H01L-021/027
- G03F-007/20
- G03F-007/207

Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a wave front aberration measuring method and a projection aligner which can measure precisely the wave front aberration at a high speed for grasping imagery performance of a projection optical system which is changed by an exposing load and environmental change in the projection aligner. **SOLUTION:** In a wave front measuring method of a projection optical system of a projection aligner wherein a pattern formed on a first object is image- formed on a second object via the projection optical system and exposed to a light, an optical intensity detecting means for measuring optical intensity distribution of a specified pattern on a surface of the first object via the projection optical system, a wave front aberration operating means for the calculating wave front aberration of the projection optical system by using the optical intensity distribution detected by the optical intensity detecting means, and a control means which measures the wave front aberration of the projection optical system in the case that the exposing load and/or the environmental change or the like are measured and these values exceed constant values, are used. COPYRIGHT: (C)2001,JPO

JAPIO

© 2005 Japan Patent Information Organization. All rights reserved.

Dialog® File Number 347 Accession Number 7002576

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-230193

(P2001-230193A)

(43)公開日 平成13年8月24日(2001.8.24)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード [*] (参考)
H 0 1 L 21/027		G 0 3 F 7/20	5 2 1 5 F 0 4 6
G 0 3 F 7/20	5 2 1	7/207	H
7/207		H 0 1 L 21/30	5 1 6 A

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 17 頁)

(21)出願番号 特願2000-41676(P2000-41676)

(22)出願日 平成12年2月18日(2000.2.18)

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 佐々木 亮

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(72)発明者 大崎 美紀

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(74)代理人 100086818

弁理士 高梨 幸雄

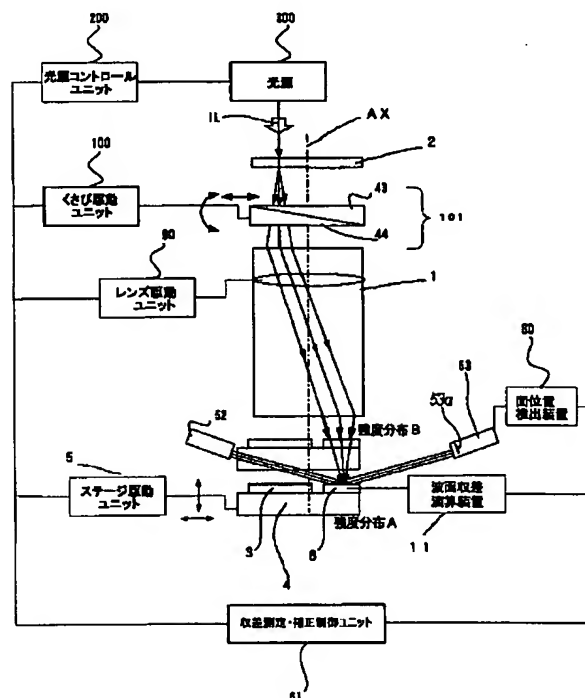
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 波面収差測定方法及び投影露光装置

(57)【要約】

【課題】投影露光装置において、露光負荷や環境変化により変化する投影光学系の結像性能を把握する為、波面収差を精度良く、かつ、高速に計測することのできる波面収差測定方法及び投影露光装置を得ること。

【解決手段】第1の物体上に形成されたパターンを投影光学系を介して第2の物体上に結像させて露光する投影露光装置の投影光学系の波面測定方法において、該投影光学系を介して該第1物体面上の特定パターンの光強度分布を測定する光強度検出手段と、該光強度検出手段により検出された光強度分布を用いて、投影光学系の波面収差を算出する波面収差演算手段と、露光負荷、又は/及び環境変化などを測定してその値が一定値を超えた場合に投影光学系の波面収差を計測する制御手段とを利用していること。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の物体上に形成されたパターンを投影光学系を介して第2の物体上に結像させて露光する投影露光装置の投影光学系の波面測定方法において、該投影光学系を介して該第1物体面上の特定パターンの光強度分布を測定する光強度検出手段と、該光強度検出手段により検出された光強度分布を用いて、投影光学系の波面収差を算出する波面収差演算手段と、露光負荷、又は／及び環境変化などを測定してその値が一定値を超えた場合に投影光学系の波面収差を計測し、光学特性を制御する制御手段とを利用していることを特徴とする波面収差測定方法。

【請求項2】 前記投影光学系の波面収差を位相回復法を用いて計測していることを特徴とする請求項1の波面収差測定方法。

【請求項3】 前記波面収差に基づき前記投影光学系の光学特性を制御していることを特徴とする請求項1の波面収差測定方法。

【請求項4】 前記投影光学系の光学特性は、波面収差又は／及び像シフトであることを特徴とする請求項3の波面収差測定方法。

【請求項5】 第1の物体上に形成されたパターンを投影光学系を介して第2の物体上に結像させて露光する投影露光装置の投影光学系の波面測定方法において、該投影光学系を介して該第1物体面上の特定パターンの光強度分布を測定する光強度検出手段と、該光強度検出手段により検出された光強度分布を用いて、投影光学系の波面収差を算出する波面収差演算手段と、該投影光学系の波面収差を露光履歴データから予測する制御手段とを利用していることを特徴とする波面収差測定方法。

【請求項6】 前記投影光学系の波面収差に基づき該投影光学系の光学特性を制御することを特徴とする請求項5の波面収差測定方法。

【請求項7】 前記投影光学系の光学特性は、波面収差又は／及び像シフトであることを特徴とする請求項6の波面収差測定方法。

【請求項8】 第1の物体上に形成されたパターンを投影光学系を介して第2の物体上に結像させて露光する投影露光装置の投影光学系の波面測定方法において、該投影光学系を介して該第1物体上のパターンを該第2物体上に露光する露光光と光強度分布検出用の計測光に分岐する分岐手段と、露光中の波面収差に基づき、該投影光学系の光学特性をリアルタイムに制御する制御手段とを利用していることを特徴とする波面収差測定方法。

【請求項9】 前記投影光学系の光学特性は、波面収差又は／及び像シフトであることを特徴とする請求項8の波面収差測定方法。

【請求項10】 前記投影光学系を介して該第1物体面

上の特定パターンの光強度分布を測定する光強度検出手段と、該光強度検出手段により検出された光強度分布を用いて、投影光学系の波面収差を算出する波面収差演算手段と、

該投影光学系を介して該第1物体上パターンを第2物体上に露光する露光光と光強度分布検出用の計測光に分岐する分岐手段と、

該投影光学系を介して該第1物体面上の特定パターンの光強度分布を測定する光強度検出手段と、該光強度検出手段により検出された光強度分布を用いて、投影光学系の波面収差を算出する波面収差演算手段と、

露光中における該投影光学系の波面収差をリアルタイムに計測していることを特徴とする波面収差測定方法。

【請求項1-1】 露光中における投影光学系の波面収差を位相回復法を用いてリアルタイムに計測していることを特徴とする請求項10の波面収差測定方法。

【請求項12】 前記波面収差に基づき前記投影光学系の光学特性をリアルタイムに制御することを特徴とする請求項10の波面収差測定方法。

【請求項13】 前記投影光学系の光学特性は、波面収差又は／及び像シフトであることを特徴とする請求項10の波面収差測定方法。

【請求項14】 請求項1から13のいずれか1項の波面収差測定方法を利用していることを特徴とする投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、マスク上のパターンを投影光学系を介して感光性の基板に転写する、半導体素子を製造する等のリソグラフィ工程で使用される投影光学系の波面収差測定方法及び投影露光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体素子等を製造するフォトリソグラフィ工程では、レチクルやフォトマスク（以下、レチクルと総称する）に形成された回路パターンを感光剤が塗布された半導体ウエハー等に転写する投影型露光装置が使用される。

【0003】この種の露光装置では、レチクル上のパターンを所定の倍率（縮小率）で正確にウエハー上に転写することが要求されており、結像性能のよい、収差を抑えた投影レンズ（投影光学系）を用いることが重要となってきた。

【0004】特に近年、半導体デバイスの一層の微細化要求により、投影レンズで転写できる結像性能限界のパターンを転写することが多くなってきた結果、転写するパターンは光学系の収差に対し、より敏感になっている。その為、投影レンズの結像性能を測定し、制御したいという要求が生じ、該測定、制御に対し、様々な方法が考案されている。

【0005】投影レンズの結像性能を制御する一つの方法が特開昭63-306626号公報にて報告されている。同公報では投影レンズが露光光の一部を吸収して、温度が変化したことにより変動するフォーカス面の位置を制御するというものである。

【0006】一方、特開平05-315225号公報では、線幅・照明方法によって異なる、投影レンズの露光収差の制御方法が報告されている。投影露光装置では（線幅・照明方法により回折光が射出される角度が異なるため、投影レンズ内部の光線通過位置が異なる。それにより、投影レンズ内部の温度上昇変化率が異なり、投影光学系の収差が異なり、同公報はこれを制御するというものである。

【0007】一方、近年半導体素子製造用の投影露光装置では投影レンズの高NA化が求められており、最近の投影レンズにおいてはNA0.65以上、解像線幅0.18 μ mのスペックが望まれている。また、それに伴い焦点深度も0.5~0.7 μ mとかなり厳しくなり、フォーカス面の追従性は0.05 μ m以下の精度が要求されている。

【0008】このような状況の中、投影光学系の露光光吸収により微妙に変動する収差をも制御する必要性が生じてきており、前述した二つの公報にみられるような、フォーカスに重点を置いた計測ではなく、露光により変化する投影レンズの結像性能を測定したいという要求がでてきた。

【0009】その為、フォーカスのみならず、他の諸収差（例：球面収差、アス、コマ、倍率、ディストーション等）の変動を計測・制御する必要性が生じており、この投影光学系の諸収差を制御する為の手段として、全ての収差情報を含む波面収差の計測が必要となってきた。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】特開昭63-306626号公報に述べられているフォーカス検出方法は、スリットを配置したレチクル及びステージを用いて、その相対移動により通過する光量を検出し、検出光量の最大値によりフォーカス位置を決定する方法である。

【0011】この制御方法は、光量検出法を用いている為、像面湾曲及び像面傾斜しか求めることができない。また、レチクルのパターン線幅によるフォーカス差（フォーカスの線幅依存性）を求めることができない為、十分なフォーカス精度を得ることができない。

【0012】又、特開平5-315225号公報による方法では、フォーカス検出系に用いるパターンと実露光に用いる線幅との差をあらかじめ求めておき（ウェハに焼き付けて計測）、露光における入射露光量 δI を計測することにより、フォーカスの変化量 δF を予測するというものである。

【0013】この為、フォーカス検出精度は、焼き付け

パターンの読み取り精度に大きく左右されることになる。また、同公報においては、球面収差、フォーカス及び倍率変化のみの計測であり、全ての収差を測定できるわけではない。

【0014】上記二つの公報における方法では、光量検出によるフォーカス検出法を用いており、投影レンズの結像性能を知る為の十分な精度を得ることができない。また、パターン線幅の依存性の測定は、焼き付けパターンを測定している為、読み取り精度に大きく左右される。それに加えて、上記二つの方法では、フォーカス計測がメインであり、他の全ての収差を測定することは極めて困難である。

【0015】本発明は、露光負荷、又は、環境変化（気圧・気温・湿度変化など）により微妙に変化する投影レンズの波面収差をタイミング良く、かつ、高速に計測し、制御することにより、投影レンズの結像性能を高精度にかつ迅速に把握し、投影露光装置を良好な結像性能に維持することができる波面収差測定方法及び投影露光装置の提供を目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明の波面収差測定装置は、第1の物体上に形成されたパターンを投影光学系を介して第2の物体上に結像させて露光する投影露光装置の投影光学系の波面測定方法において、該投影光学系を介して該第1物体面上の特定パターンの光強度分布を測定する光強度検出手段と、該光強度検出手段により検出された光強度分布を用いて、投影光学系の波面収差を算出する波面収差演算手段と、露光負荷、又は、及び環境変化などを測定してその値が一定値を超えた場合に投影光学系の波面収差を計測する制御手段とを利用していることを特徴としている。

【0017】請求項2の発明は請求項1の発明において、前記投影光学系の波面収差を位相回復法を用いて計測していることを特徴としている。

【0018】請求項3の発明は請求項1の発明において、前記波面収差に基づき前記投影光学系の光学特性を制御していることを特徴としている。

【0019】請求項4の発明は請求項3の発明において、前記投影光学系の光学特性は、波面収差又は、及び像シフトであることを特徴としている。

【0020】請求項5の発明の波面収差測定方法は、第1の物体上に形成されたパターンを投影光学系を介して第2の物体上に結像させて露光する投影露光装置の投影光学系の波面測定方法において、該投影光学系を介して該第1物体面上の特定パターンの光強度分布を測定する光強度検出手段と、該光強度検出手段により検出された光強度分布を用いて、投影光学系の波面収差を算出する波面収差演算手段と、該投影光学系の波面収差を露光履歴データから予測する制御手段とを利用していることを特徴としている。

【0021】請求項6の発明は請求項5の発明において、前記投影光学系の波面収差に基づき該投影光学系の光学特性を制御することを特徴としている。

【0022】請求項7の発明は請求項6の発明において、前記投影光学系の光学特性は、波面収差又は／及び像シフトであることを特徴としている。

【0023】請求項8の発明の波面収差測定方法は、第1の物体上に形成されたパターンを投影光学系を介して第2の物体上に結像させて露光する投影露光装置の投影光学系の波面測定方法において、該投影光学系を介して該第1物体上のパターンを該第2物体上に露光する露光光と光強度分布検出用の計測光に分岐する分岐手段と、露光中の波面収差に基づき、該投影光学系の光学特性をリアルタイムに制御する制御手段とを利用していることを特徴としている。

【0024】請求項9の発明は請求項8の発明において、前記投影光学系の光学特性は、波面収差又は／及び像シフトであることを特徴としている。

【0025】請求項10の発明の波面収差測定方法は、前記投影光学系を介して該第1物体面上の特定パターンの光強度分布を測定する光強度検出手段と、該光強度検出手段により検出された光強度分布を用いて、投影光学系の波面収差を算出する波面収差演算手段と、該投影光学系を介して該第1物体上パターンを第2物体上に露光する露光光と光強度分布検出用の計測光に分岐する分岐手段と、該投影光学系を介して該第1物体面上の特定パターンの光強度分布を測定する光強度検出手段と、該光強度検出手段により検出された光強度分布を用いて、投影光学系の波面収差を算出する波面収差演算手段と、露光中における該投影光学系の波面収差をリアルタイムに計測していることを特徴としている。

【0026】請求項11の発明は請求項10の発明において、露光中における投影光学系の波面収差を位相回復法を用いてリアルタイムに計測していることを特徴としている。

【0027】請求項12の発明は請求項10の発明において、前記波面収差に基づき前記投影光学系の光学特性をリアルタイムに制御することを特徴としている。

【0028】請求項13の発明は請求項10の発明において、前記投影光学系の光学特性は、波面収差又は／及び像シフトであることを特徴としている。

【0029】請求項14の発明の投影露光装置は、請求項1から13のいずれか1項の波面収差測定方法を利用していることを特徴としている。

【0030】

【発明の実施の形態】〔実施形態1〕本実施形態では、投影レンズ（投影光学系）の波面収差を測定することにより、諸収差（例：球面収差、アス、コマ、倍率、ディストーション等）、又は、波面収差自体を制御している。

【0031】露光負荷、又は、環境変化に起因して変化する波面収差の計測手段（波面収差測定手段）として、
・像面における光強度分布を光強度検出手段で求め、位相回復法を用いて波面収差を測定すること。

【0032】・露光量と波面収差の関係を予め計測しておくことにより、パターン焼き付け時には露光量の計測のみを行ない、波面収差量を計算すること。を利用して

【0033】また、前記の方法で算出した波面収差に基づいて、投影レンズの波面収差を調整することにより、従来よりも収差の影響を低減して、露光することを可能としている。

【0034】その際、投影レンズの波面収差を調整する結果として生じる像のシフト成分を制御することにより、アライメント精度のよい露光を可能としている。

【0035】次に本発明の実施形態の特徴について説明する。

【0036】図1は本発明の実施形態1の投影露光装置の要部概略図である。同図において2は基板のレチクル（フォトリソ）で、該レチクル2上の回路パターンが投影光学系（縮小投影レンズ）1によって、保持手段であるXYZステージ4上のウエハ3上に縮小されて結像し、露光が行われる。

【0037】投影光学系1は入射側及び出射側で共にテレセントリックになっている。XYZステージ4は縮小投影レンズ1の光軸方向（Z方向）及び光軸方向に直交する面内（X-Y面）で移動可能で、ステージ駆動ユニット5により制御されている。

【0038】ウエハ回路パターンを転写するとき、照明光学系からの光束ILがレチクル2の回路パターンの転写が行われる画面領域内を照明する。

【0039】101は収差制御用の光学部材であり、2枚の光学くさび43、44を全体として平行平板となるように対向配置し、平行平板としたときの光入射面と光射出面が光軸AXと直交するように配置している。

【0040】この2つの光学くさび43、44は相対的に投影光学系1の光軸AXと直交する方向に移動可能であり、光軸方向の厚さが可変になっている。光学部材101の詳細については後述する。

【0041】図1では、ウエハ3に隣接する位置にウエハ3の上面と高さがほぼ一致した面を持つ光強度検出装置（光強度検出手段）8が配置されている。光強度検出装置8により計測されたウエハ面上の像面光強度分布データを波面収差演算装置（波面収差測定手段）11を用いて計算することにより、投影光学系1の波面が後述の算出アルゴリズムで算出される。

【0042】52及び53は光強度検出手段8の面やウエハ3面の光軸AX方向の位置を検出する面位置検出光学系を構成する要素を示している。このうち52は光学系（投光光学系）であり、同図では光強度検出装置8

の面の光軸AXに対する傾きをチェックする為、複数個の光束を投光する。

【0043】投光光学系52より投光される各光束は非露光光からなり、ウエハー3上のフォトレジストを感光させない光よりなっている。そして、この複数の光束は光強度検出装置8の所定面（またはウエハー面3）上に各々集光されて反射される。

【0044】光強度検出装置8の面で反射された光束は検出光学系53に入射する。検出光学系53内には各反射光束に対応させて複数個の位置検出用の受光素子53aが配置されており、各位置検出用の受光素子53aの受光面と光強度検出装置8の面での各光束の反射点が検出光学系内の光学系によりほぼ共役となるように構成されている。

【0045】光強度検出装置8における所定面の縮小投影レンズ1の光軸AX方向の位置ずれは検出光学系53内の位置検出用の受光素子53a上での入射光束の位置ずれとして計測される。

【0046】この検出光学系53により計測された光強度検出装置8のフォーカス基準位置からのZ方向（光軸AX方向）のずれが位置検出用の受光素子からの出力信号に基づいて面位置検出装置80により面位置情報として算出される。

【0047】この結果、実際にTTLで計測されるフォーカス位置からのずれに対する信号が収差測定・制御ユニット61に入力される。

【0048】収差測定・制御ユニット（制御手段）61は光強度検出装置8が固設されたXYZステージ4を駆動する為のステージ駆動ユニット5に信号線を介して司令信号を与える。また、投影レンズ1の波面収差を測定するときには収差測定・制御ユニット61によりステージ制御ユニット5に指令を与え、光強度検出装置8が所定の装置の基準位置の近傍で投影レンズ1の光軸方向（Z方向）に上下に変位するようにXYZステージ4を駆動する。

【0049】ここで、像面（ウエハ面）上の特定パターンの光強度分布を測定する光強度検出装置8としては、CCDカメラ等の撮像素子が適用できるが、この他ウエハ面と同一面上に設けたスリット、又は、ナイフエッジをX及びY方向にスキャンさせ、その際の透過光量を受光手段で検知することで、像面での特定パターンの光強度分布を計測することも可能である。

【0050】また、特定パターンをレチクル2の任意の位置に複数個所配置しておき、光強度検出装置8の配設されたステージ4をX及びY方向に駆動させ、任意の複数の位置でのパターン強度を計測することにより、投影レンズ1の各画角に依存する光学特性（倍率・像面湾曲・ディストーション・コマ収差・非点収差、等）を計測している。

【0051】〈位相回復法による波面収差測定〉次に、

本発明の実施形態1の投影露光装置を用いて、位相回復法により投影光学系1の波面収差を算出する方法を説明する。

【0052】位相回復法は、主に電子顕微鏡や大きな収差が存在する天体望遠鏡等の光学系における解像度の向上に用いられてきた方法であり、複数位置、例えば、像面、瞳面、デフォーカス位置等における像の光強度分布から像の光位相分布を求めるものである。そしてその位相分布から光学系の波面収差を算出する方法である。

【0053】通常の位相回復法のアルゴリズムを図2、図3に示した。まず、計測した像面での光強度分布を用い、任意に位相を与えた後、フーリエ変換し、瞳面での複素振幅分布を求める。

【0054】次に、得られた複素振幅分布のうち、位相部はそのままとし、光強度部にあたる絶対値のみを実際の測定値に応じた値（瞳面での強度の平方根）に置き換え、これを新たな複素振幅分布とする。この新たな複素振幅分布を逆フーリエ変換し、像面上での複素振幅分布を求め、再び、位相部のみそのままとし、光強度を実測値に置き換える。

【0055】以上のような計算を繰り返し行なうことで、像面及び瞳面での複素振幅分布を算出し、瞳面での複素振幅分布の位相分布から、投影レンズの波面収差を算出している。

【0056】フォトリソグラフィのように投影レンズの瞳面での光強度分布の測定が難しい場合、図4、図5に示したように瞳面を介して、像面とデフォーカス面との間で、変換—逆変換を繰り返すことで、像面での複素振幅分布とデフォーカスした面での複素振幅分布を算出し、その結果から瞳の位相分布、すなわち投影レンズの波面収差を求めることも可能である。

【0057】尚、この方法は例えば、J. J. A. P Vol. 36 1 997 pp. 7494-7498に記載されているので詳細は省略する。

【0058】次に本発明の実施形態1の概略図である図1を用いて、上記位相回復法により、投影レンズ1の波面収差を算出・制御する方法を説明する。露光波長の照明光束ILでレチクル2のパターンを照明し、その像を光強度検出装置8上に結像させ、この強度分布A（フォーカス面での光強度分布）を光強度検出装置8により計測する。

【0059】次に、光強度検出装置8の位置を変えて、レチクル2上のパターン像が、光強度検出装置8上でデフォーカスした状態にし、この状態での強度分布B（デフォーカス面での光強度分布）を計測する。強度分布Aと強度分布Bを用いて、図4に従って、位相回復法により投影レンズの波面収差を算出している。

【0060】具体的には、強度分布Aに任意の初期位相を与え、フーリエ変換し、瞳面での複素振幅分布を求める。次に瞳面と強度分布Bを測定したデフォーカス面と

がフーリエ変換（像と瞳）の関係になるように瞳面での複素振幅分布の位相部に補正を加えたのち、その複素振幅分布を逆フーリエ変換して、今度はデフォーカス面での複素振幅分布を求める。

【0061】次に、デフォーカス面での複素振幅分布のうち、位相の項は変更せずに、強度の項にあたる絶対値のみデフォーカス面での強度の実測値に基づいた値に変更したのち、フーリエ変換し、瞳の複素振幅分布を求める。再度、瞳面とフォーカス面がフーリエ変換の関係に戻るよう、瞳面での複素振幅分布の位相部に補正を加えた後、逆変換を行ない、フォーカス面での複素振幅分布を計算する。

【0062】ここで、再び、強度の項のみ実測値に基づいて変更し、フーリエ変換する。以上のような繰り返しにより、結像位置での複素振幅分布を算出し、その分布をフーリエ変換することにより、瞳面での位相分布、すなわち、投影レンズの波面収差を算出している。

【0063】本実施形態ではこのようにして、露光中の、露光負荷、又は、環境変化に起因する波面収差を測定している（ここで、環境変化とは、気温、気圧、湿度などの投影光学系の波面収差を変化させる要因を指す。）。

【0064】上記位相回復法により求められた波面収差係数を、ツエルニッケ係数に変換することにより、球面収差、アス、コマ、倍率、ディストーション等の諸収差を求めている。この諸収差をターゲットにして、投影光学系を制御したり、又、波面収差自体をターゲットに取り、投影光学系を制御している（これらの光学特性の制御方法については、後で詳述する。）。

【0065】〈波面収差計測タイミング〉次に、本実施形態の波面収差計測を実際の露光動作のシーケンス中で使用する場合について説明する。

【0066】実露光において、投影光学系が露光光を吸収することにより、又は、環境（気温、気圧、湿度など）が変化することにより、投影光学系の瞳面の位相変化（波面収差の変化）が生じる。この波面収差変化は露光量変化、及び、環境変化と相関がある事が分かっている。

【0067】その為、本実施形態では露光中に露光量、又は、環境変化量を測定し、その測定値が一定値を超えた場合に、位相回復法を用いて波面収差を測定し、ターゲットの収差（例：球面収差、アス、コマ、倍率、ディストーション等）を制御し、収差の小さい状態でパターンを焼き付けることを可能としている。

【0068】ここで、図5のフローチャートを用いて、波面収差計測、及び、制御のシーケンスを詳述する。

【0069】まず、露光毎に、露光継続か、露光終了かを判断する。ここで、露光継続なら、露光量の測定、又は、環境変化量の測定を行なう。ここで、露光量はレチクル透過率・照度・照射時間等より算出し、環境変化量

は気圧・気温・湿度の変化を計測することより算出している。

【0070】この露光量、又は、環境変化量が一定値以下なら、露光を継続し、一定値以上なら、波面収差測定のステップに移行する。

【0071】波面収差測定のステップにおいて、像面の光強度分布A・Bを測定する。次に、この像面の光強度分布より位相回復法を用いて波面収差を算出している。

【0072】この波面収差をツエルニッケ係数に変換することにより、ターゲットの諸収差（例：球面収差、アス、コマ、倍率、ディストーション等）を算出する。

【0073】次に、このターゲット収差がトレランス以下の場合には、再び露光を行ない、トレランス以上の場合には、収差制御ステップに移行する（ここで、ターゲット収差を波面収差自体とする場合、ツエルニッケ係数への変換を行なわなくても良い。）。

【0074】収差制御ステップにおいては、各収差に対応した制御方法を用いることにより、収差量をコントロールすることが可能となる（収差制御方法については後述する。）。

【0075】上記の例においては、露光量、又は、環境変化量が一定値を超えた時に波面収差の計測を行っていたが、波面収差の計測を露光ショット数でnショット目、または、ウェハー枚数でn枚目というように決定しても良い。

【0076】また、ウェハー交換時に波面収差計測を行なうように設定すると、スループット上都合が良い。この場合、1枚のウェハー露光中の波面収差変化、しいては、ターゲット収差がリミット内に収まる確率が高くなり都合が良い。

【0077】一方、許容収差量が厳しい場合や、波面収差の変化が激しい場合は、露光毎に波面収差を測定・制御しても良い。

【0078】〈光学特性の制御方法〉上記位相回復法により求めた収差は、以下の方法により制御することが可能である。それぞれの方法について、以下に詳述する。

【0079】（アー1）図1に示される2枚1組の光学くさび43、44よりなる光学部材101により収差を制御する方法。

【0080】これら2枚の光学くさび43、44はそれぞれ左右方向に駆動する為の不図示のアクチュエーターがついている。これらを駆動することにより、光束に対する平行平板としての板厚を変化させて、縮小投影レンズ1の球面収差を制御している。さらに、この光学部材101を傾けることによりコマ収差を制御している。

【0081】また、この時同時に縮小投影レンズ1のピント位置も変化してしまうので、XYZステージ4を縮小投影レンズ1の光軸方向に移動させてピントを制御している。

【0082】（アー2）縮小投影レンズ1内のレンズを

レンズ駆動ユニット90を用いて光軸方向に駆動させる方法。または、互いに厚さの異なる平行平面板をレンズ駆動ユニット90を用いて光路中で切り替える方法。

【0083】(ア-3) 縮小投影レンズ1内の光学部材間の密閉空気内の気体の屈折率を変化させる方法。

【0084】この時、気体の屈折率を変化させる手段としては、圧力制御、混合気体の混合比制御等がある。

【0085】(ア-4) 縮小投影レンズ1の一部又は全部を加熱、冷却する方法。加熱、冷却することで縮小投影レンズ1内の光学部材の物理的変形や、屈折率を生じさせて球面収差を変化させる。

【0086】(ア-5) 投影露光装置の照明光学系の光源から放射される光の波長を変えることで、縮小投影レンズ1の色収差補正された波長からずらすことによって色球面収差を変化させる。光源として狭帯域化されたエキシマレーザー等の放射光の波長を可変とすることができるものをを用いたときに最適な方法である。

【0087】(ア-6) 投影露光装置の照明光学系で用いる光束の波長幅を変化させる方法。

【0088】波長幅を変えることで、縮小投影レンズ1の軸上色収差によってピンツレの広がりが増加し球面収差を変化させる。光源が狭帯域化されたエキシマレーザー等の放射光の波長幅を可変とすることができるものをを用いたときに最適な方法である。

【0089】(ア-7) 縮小投影レンズ1の瞳位置に所定の球面収差を発生させる回転対称な非球面を切り替える方法。

【0090】上記(ア-1)～(ア-7)の方法を用いて球面収差を変化させると、多くの場合、球面収差以外の光学性能も同時に変化してしまうのでそれを制御する必要がある。また、球面収差以外の光学性能も所望の値に制御する必要がある時もある。(例：Mix & Matchの場合に倍率を制御する。) これらの場合、縮小投影レンズ内の球面収差の制御に使っていないところの光学部材を移動したり、光学部材間の気体の屈折率を変化させたりして、球面収差以外で制御したい光学性能

(例：球面収差、アス、コマ、倍率、ディストーション等)を制御する。

【0091】また、制御する光学性能と制御手段の関係は、近似的に線形結合であるので両者の数は一致する。このようにして、球面収差のみならず、諸収差(例：球面収差、アス、コマ、倍率、ディストーション等)を制御することが可能となる。また、同様にして波面収差を制御することも可能である。

【0092】〈像シフトの制御〉上記(ア-1)～(ア-7)の方法にあるようなレンズ駆動や部材挿入等による収差制御に伴い、画面全体(ショット全体)の像シフトが発生する場合がある。

【0093】ここで、予め収差制御部材の駆動量に対する像シフトの変化量を実験的に、又は、計算によって求

めておけば、アライメント情報に(特にベースライン量にオフセットとして)フィードバックさせることができる。オフセット量に従ってXYステージ位置を補正する事で露光中の収差制御に伴うアライメントズレを発生させることなく、精度よく重ねあわせ焼きを行なうことができる。

【0094】一方、収差制御部材の駆動量に対する像シフト変化量を予め求めておく方法とは別に、収差計測駆動毎に、同時にベースライン量を計測し、ベースライン量を直接書き換えても良い。ベースライン計測については、不図示の専用アライメント検出系で専用マークを検出することで計測しても良い。

【0095】又、波面収差計測時と同様に特定パターン光強度分布を検出することで収差を算出し制御する場合、収差制御部材を駆動後、画面共通シフト成分を再計測・算出し、その値を直接ベースライン量にフィードバックする方法でも良い。

【0096】この方法では、駆動に伴う予期しないシフト成分を直接計測する事でリアルタイムに、かつ、精度よく、アライメント情報にフィードバックすることができる。

【0097】次に、上記像シフトの計測・補正シーケンスを図7、図9に示す。図7は図6に、図9は図8に対応したシーケンスであり、収差制御後の像シフト量算出ステップと像シフト制御ステップが加わったものである。

【0098】シーケンスとしては、波面収差の計測・算出を行ない、所望の収差制御の為に収差制御部材を駆動させる。その後、像シフト量を計測、又は、算出し、その像シフト量が予め設定したトレランスより大きい場合は、像シフトを制御するステップに移行する。

【0099】上記のようなシーケンスにより、露光において微妙に変化する投影レンズの結像性能を把握し、波面収差を精度良く、かつ、高速に計測し、制御することが可能となる。

【0100】また、収差制御部材を駆動させることによって生じる像シフトをも算出・制御することが可能となり、さらに露光動作中に随時補正を行なうので、常に収差・像ズレの少ない状態で露光することが可能となる。

【0101】[実施形態2]

〈露光履歴による波面収差算出〉実施形態1では、像面の光強度分布を計測し、位相回復法を用いることにより、投影光学系の波面収差を求めた。

【0102】本実施形態では、露光時にモニターしている露光量をもとに波面収差を算出する方法を用いている。

【0103】露光装置の工場出荷時などに、予め実験において露光量に対する波面収差(瞳面の位相)を測定し、露光履歴として装置に保持させる。これにより、実露光時には像面の光強度分布を測定すること無しに、波

面収差を算出することが可能となる為、スループット上非常に有利になる。

【0104】このシーケンスを図8のフローチャートを用いて説明する。

【0105】予め、露光装置の工場出荷時などに、露光量に対する波面収差（瞳面の位相）を測定しておき、露光履歴として露光装置に保持する。

【0106】次に、実際の露光において、露光毎に、露光継続か、露光終了かを判断する。露光継続なら、露光量算出のステップに移行する。

【0107】露光時間、レチクル透過率、照度などから露光量を算出した後、この露光量がトレランス（許容値）以下なら、再び露光を行ない、トレランス以上なら、波面収差算出・制御のステップに移行する。

【0108】ここで、露光量がトレランス以上の場合には、装置が保持している露光履歴より、露光量に対する波面収差を算出することが可能となる。この波面収差をツエルニケ係数に変換することにより、ターゲットの諸収差（例：球面収差、アス、コマ、倍率、ディストーション等）を算出している。

【0109】次に、収差制御ステップに移行する。収差制御ステップにおいては、各収差に対応した制御方法を用いることにより、収差量をコントロールすることが可能となる（収差制御は“実施形態1”の方法で行なう。）

ここで、スループットが問題となる場合はウェハ一枚数をターゲットとし、ウェハ交換時に行なうようにすると良い。この時、1枚のウェハ露光中の位相変化、しいては、ターゲット収差がリミット内に収まる確率が高くなり都合がよい。

【0110】一方、許容収差量が厳しい場合や、波面収差の変化が激しい場合は、露光量のトレランスをゼロとして露光毎に波面収差を測定・制御しても良い。

【0111】以上の例では露光量に起因して波面収差が変化する場合を述べたが、縮小投影レンズの波面収差を変化させる要因としては、気温、気圧、湿度、等の環境変化も考えられる。これらの環境要因に起因して変化する投影光学系の収差を計測・制御することも可能である。

【0112】このように、露光装置の工場出荷時などに、予め露光量に対する波面収差（瞳面の位相）の変化を求めて、露光履歴として装置に保持させることにより、実際の露光動作のシーケンス中では波面収差を測定することなく、演算のみで目的の収差（例：球面収差、アス、コマ、倍率、ディストーション等）を算出・制御し、パターンを焼き付けることが可能となる。

【0113】〔実施形態3〕

（ハーフミラーによる波面収差のリアルタイム計測）前述した、実施形態1の方法では、パターン焼き付けの途中で、像面上の光強度分布の測定が必要となる。この測

定に要する時間の為に波面収差が変化する場合には、精密な波面計測が難しくなる。

【0114】このように、波面収差が微妙に変化する場合、パターン焼き付けと同時に測定を行ない、測定精度を向上させる必要が生じる。

【0115】図10は本実施形態の要部概略図である。この図は、実施形態1の投影光学系のウェハ側に分岐手段としてハーフミラー55を設置し、投影レンズ1からの光束をパターン焼き付け光と光強度分布測定光とを分岐したものである。

【0116】ここで、ハーフミラー55の代わりにハーフミラー面を有したプリズムなどを用いて分岐することも可能である。

【0117】実施形態1では、パターン焼き付けと像面強度測定用の光路が同一の為、パターンを焼き付けの前後で、像面光強度分布の測定、及び、算出を行なわなければならない。その為、波面収差測定に際してタイムラグが生じ、測定値、及び、制御に誤差が生じる場合がある。

【0118】これに対して、本実施形態では、パターン焼き付けの露光光を分光した光を、像面の光強度分布測定に用いている為、パターン焼き付けの際に生じている波面収差の変化をリアルタイムで計測することが可能となる。

【0119】これにより、微小時間に変化する微妙な波面収差の変化をも捉えることができ、その結果として、目的とする収差の制御（又は、波面収差自体の制御）を精度良く行なうことを可能としている。

【0120】

【発明の効果】本発明によれば、露光負荷、又は、環境変化（気圧・気温・湿度変化など）により微妙に変化する投影レンズの波面収差をタイミング良く、かつ、高速に計測し、制御することにより、投影レンズの結像性能を高精度にかつ迅速に把握し、投影露光装置を良好な結像性能に維持することができる波面収差測定方法及び投影露光装置を達成することができる。

【0121】この他本発明によれば、位相回復法を用いて波面収差を算出できるようになった結果、実際に露光に使用する状態で、露光により微妙に変化する投影レンズの結像性能を精度良く、かつ、高速に計測することが可能となり、フォーカスのみならず、他の諸収差（例：球面収差、アス、コマ、倍率、ディストーション等）をも容易に制御することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態1を説明する図

【図2】本発明において像面と瞳面で位相回復法をおこなう場合の説明図

【図3】本発明において像面と瞳面で位相回復法をおこなう場合のフローチャート

【図4】本発明においてフォーカス面とデフォーカス面

で位相回復法をおこなう場合の説明図

【図5】本発明においてフォーカス面とデフォーカス面で位相回復法をおこなう場合のフローチャート

【図6】本発明においてターゲット収差のトレランスにより、収差制御の実行を決めるフローチャート

【図7】図6のフローチャートに、像シフト量算出・像シフト量制御を加えたフローチャート

【図8】本発明において露光量のトレランスにより、収差制御の実行を決めるフローチャート

【図9】図8のフローチャートに、像シフト量算出・像シフト量制御を加えたフローチャート

【図10】本発明において波面収差リアルタイム計測の例を示す図

【符号の説明】

1：投影レンズ

2：レチクル

3：ウエハー

4：ウエハーステージ

5：ステージ駆動装置

8：光強度測定装置

11：波面収差演算装置

43：光学くさび1

44：光学くさび2

61：収差測定・制御ユニット

80：面位置検出装置

90：レンズ駆動ユニット

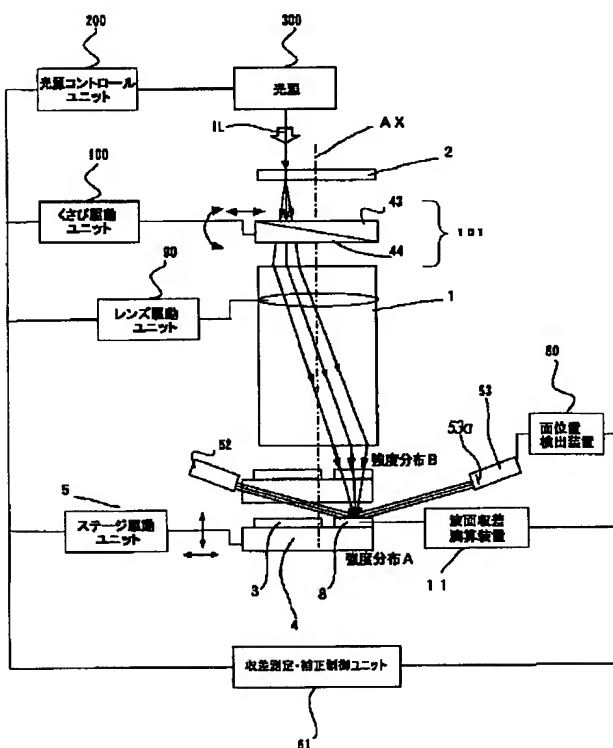
100：くさび駆動ユニット

101：収差制御用光学部材

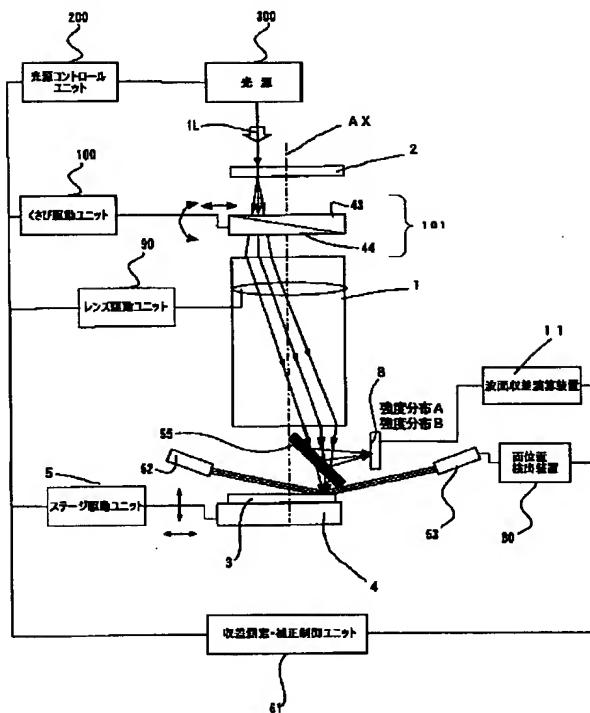
IL：照明光束

AX：投影レンズの光軸

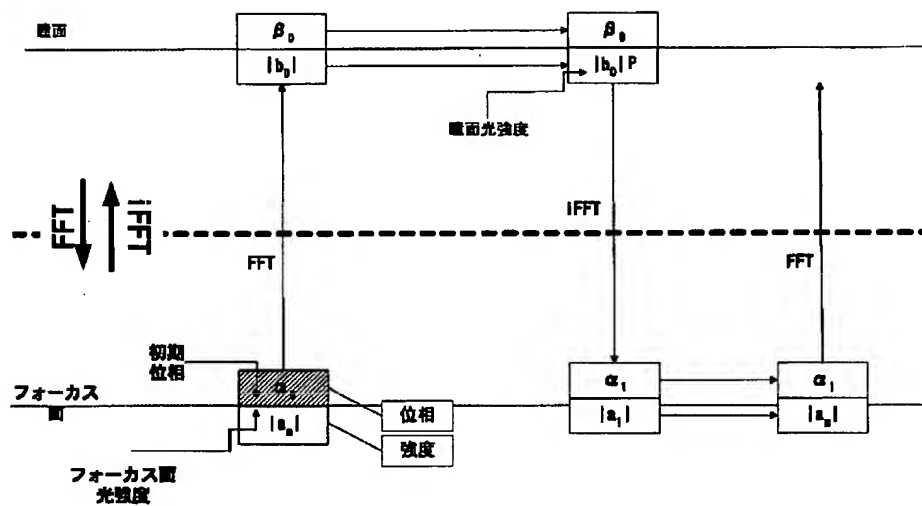
【図1】



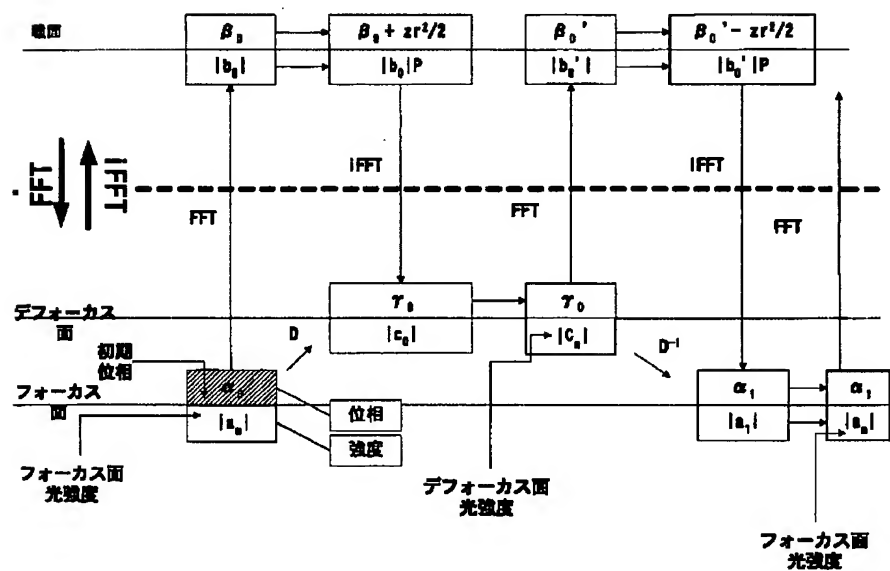
【図10】



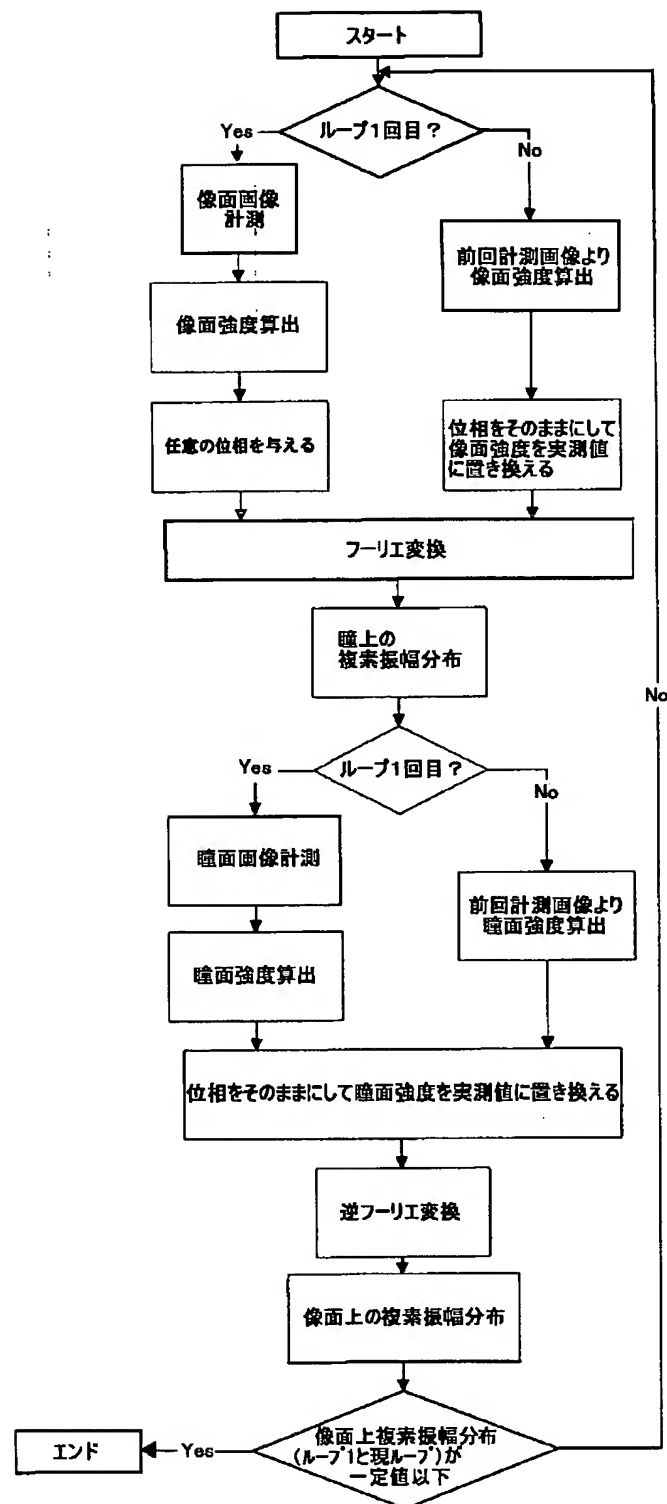
【図2】



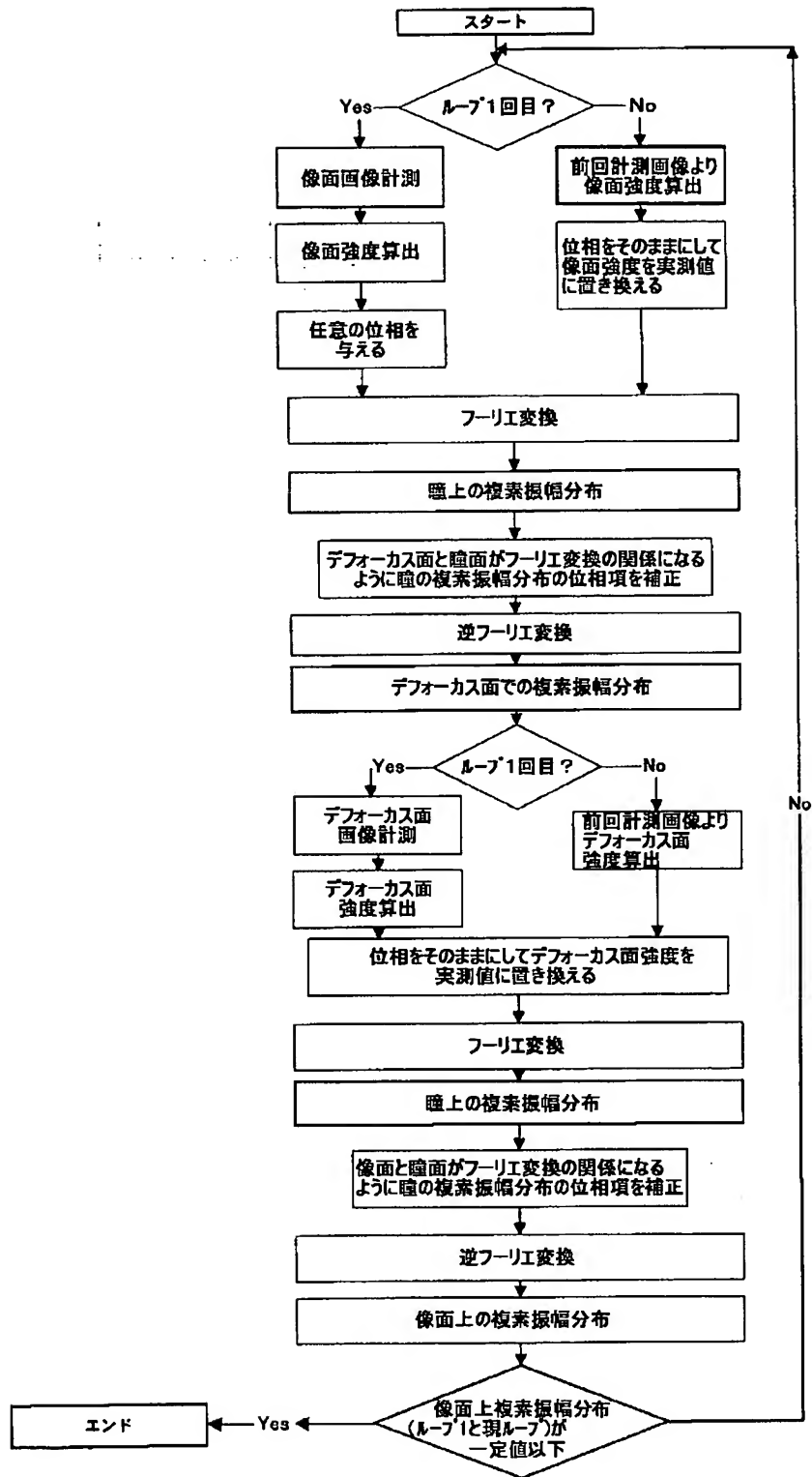
【図4】



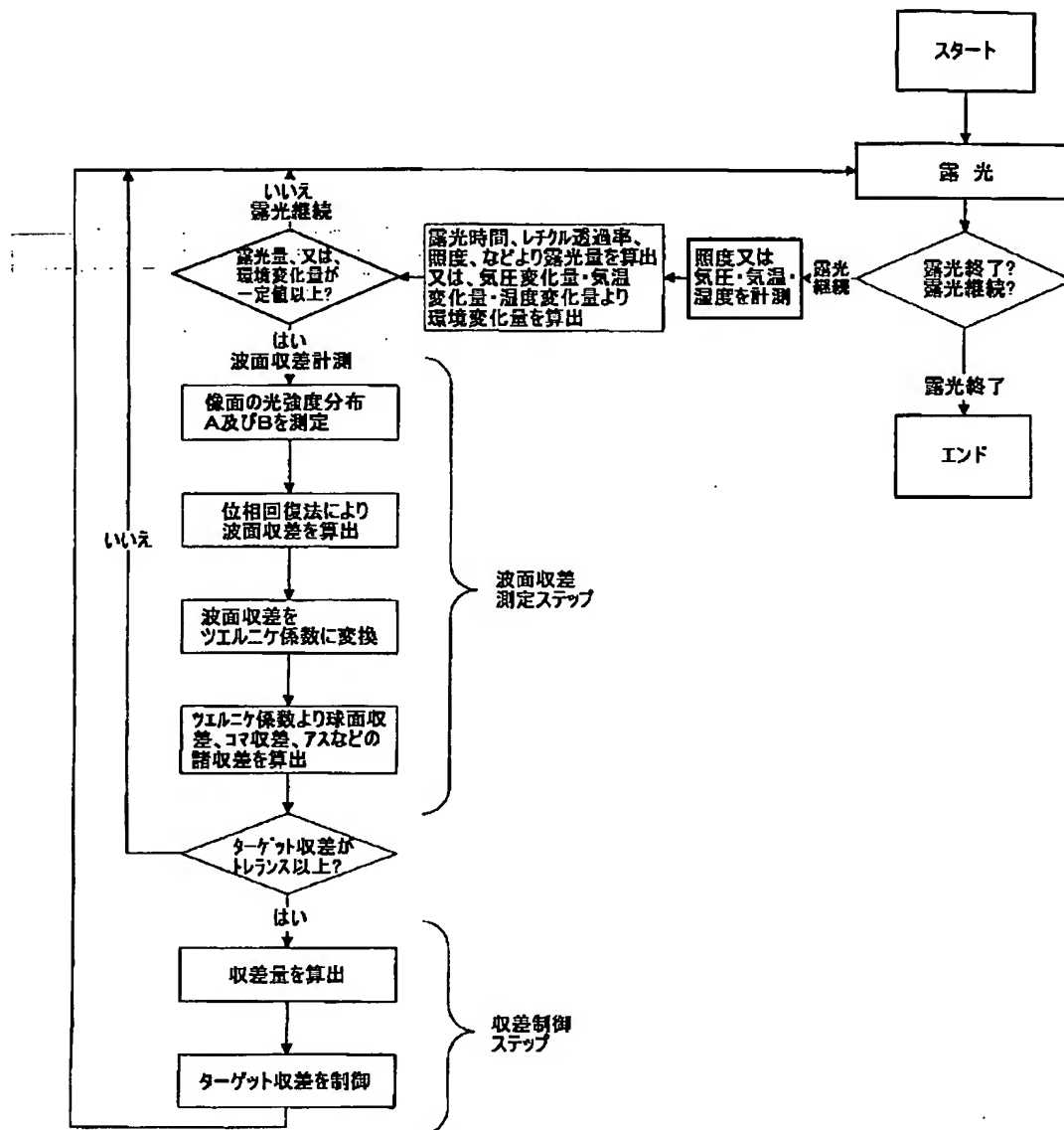
【図3】



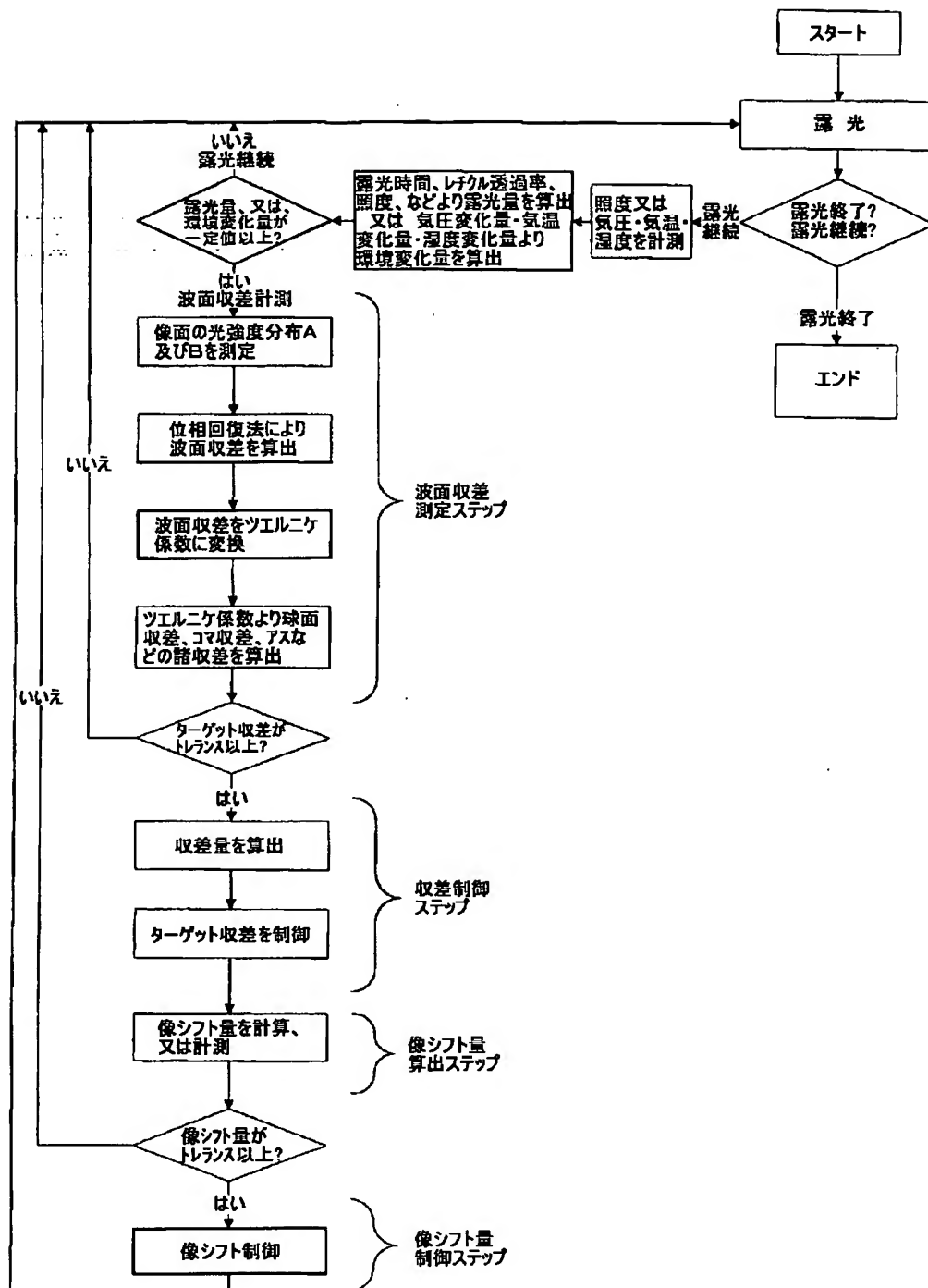
【図5】



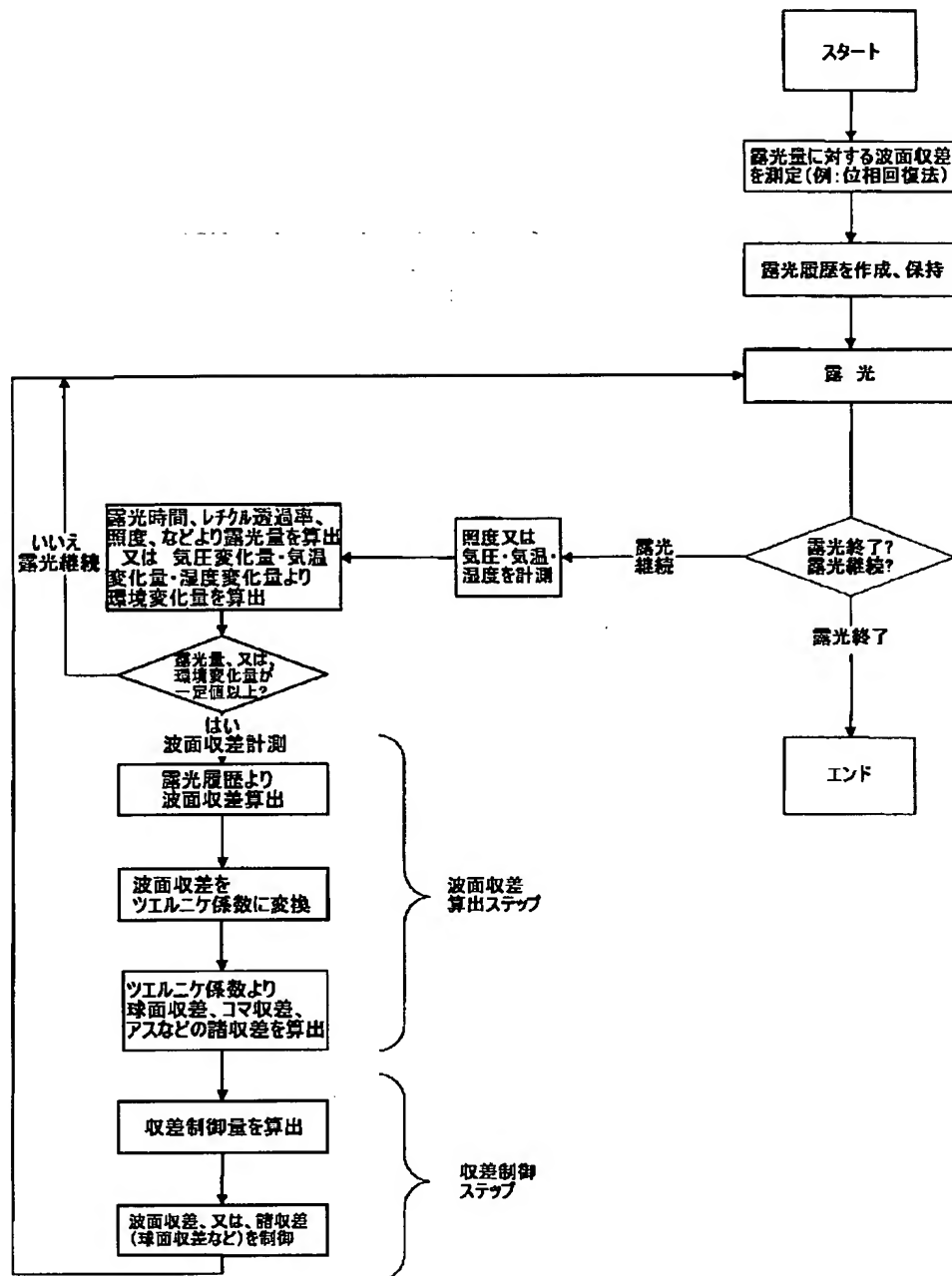
【図6】



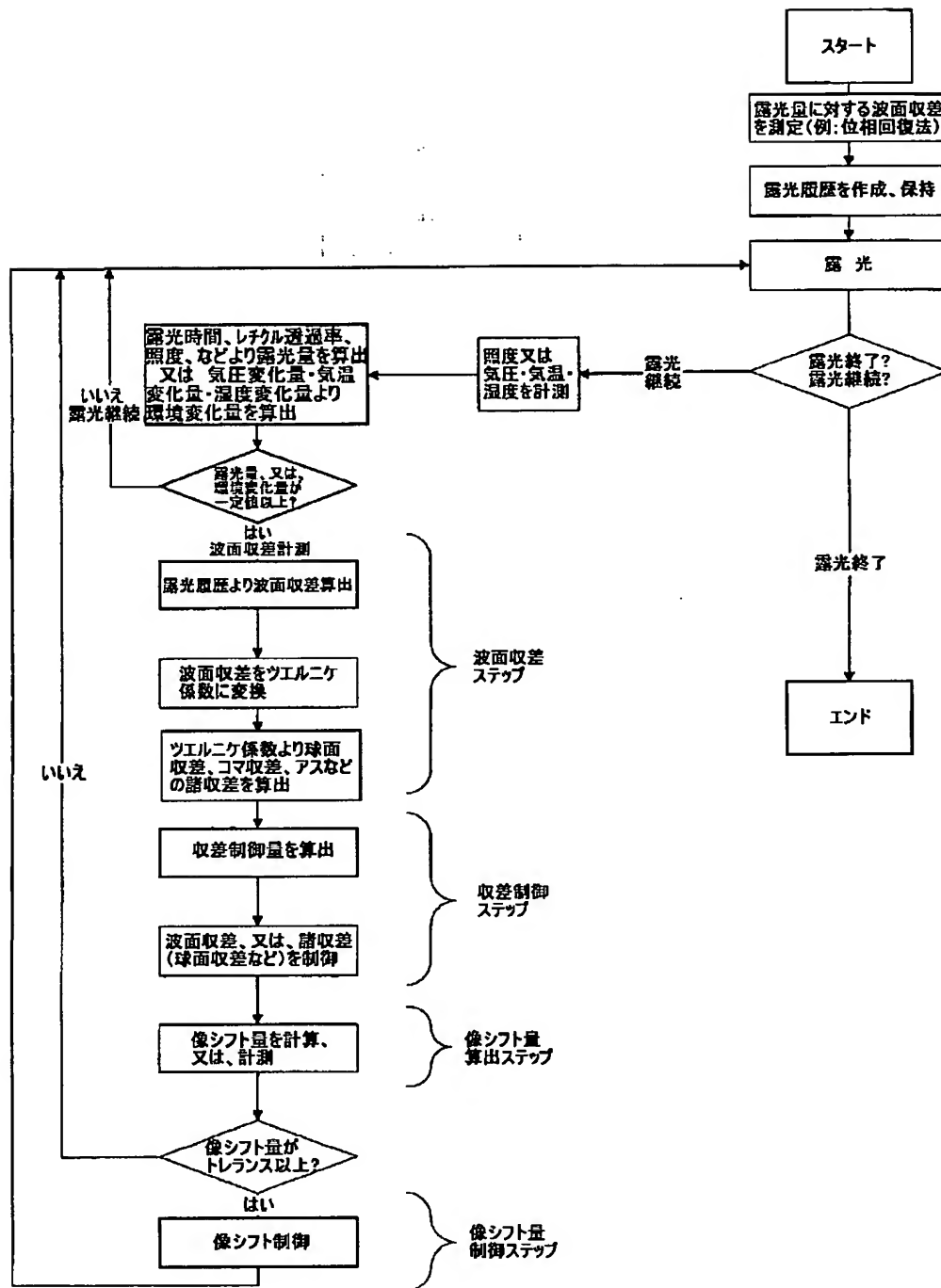
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F046 AA22 BA04 CA04 CB07 CB10
CB19 CB25 CC01 CC03 CC05
DA01 DA02 DA05 DA13 DA14
DA26 DA27 DB01 DB05 DC09
DC12